

AP20 Rec'd PCT/PTO 10 APR 2006

Buse de détente d'eau pressurisée pour générer des microbulles dans une installation de flottation.

La présente invention concerne une buse de détente pour générer des microbulles dans une cellule de flottation.

On connaît des installations de traitement d'eaux comportant une cellule de flottation dans laquelle est admise l'eau brute, préalablement floculée puis mélangée à de l'eau pressurisée et détendue de façon que les matières en suspension contenues dans l'eau brute soient entraînées par les microbulles résultant de cette détente, puis évacuées, sous forme de boues, à la surface du liquide contenu dans la cellule, l'eau traitée étant évacuée par le fond de cette cellule. Une telle installation est décrite notamment dans EP-A-0 659 690 et dans WO 03/064326.

La flottation constitue donc une technologie de clarification (séparation solide/liquide) qui est une alternative à la décantation au moins pour certains types d'eau.

Selon cette technologie rappelée ci-dessus, après l'étape de coagulation-floculation, l'eau est mélangée avec un « lait » (émulsion) de microbulles généralement d'air (présentant un diamètre moyen compris entre 30 à 80 μm). Ces microbulles s'accrochent aux flocs qui, de la sorte allégés, ont tendance à monter vers la surface de la cellule de flottation où ils s'accumulent pour former une nappe ou lit de boues. Ainsi qu'on l'a mentionné ci-dessus, les boues sont extraites en surface du

flottateur, alors que l'eau clarifiée est évacuée par le fond de l'appareil.

Une partie de cette eau clarifiée (en général de l'ordre de 10 % de l'eau à traiter) est pompée à 4 ou 6. 10⁵Pa
5 dans un ballon spécifique (dit ballon de pressurisation) où l'air se dissout en grande quantité (jusqu'à 5 fois la concentration maximale de l'air dans l'eau à la pression atmosphérique). Lors d'une détente brutale à la pression atmosphérique, l'eau est placée en condition de
10 sursaturation et génère des microbulles. Cette détente est réalisée par des systèmes statiques dits buses de détente. Ces buses de détente sont placées dans une zone spécifique où les microbulles sont mélangées à l'eau floculée.

15

Pour être physiquement séparé de l'eau dans un décanteur, un floc doit être dense ou de grande taille.

Or pour être séparé par flottation, il suffit que le dit floc soit formé ; il peut être petit et très léger. La
20 floculation peut donc être simplifiée, d'où l'absence quasi générale de polymère pour le traitement par flottation des eaux peu chargées et la mise en œuvre de réacteurs de floculation plus petits que ceux des décanteurs.

25

En contre partie, les générateurs de microbulles doivent produire des microbulles de très petit diamètre avec une énergie dissipée dans le milieu compatible avec la fragilité du floc.

30

Jusqu'à présent, les flottateurs n'ont guère été en situation de concurrencer la génération des décanteurs

rapides lamellaires, à lit de boues ou à lest, pour les raisons suivantes :

- volume généralement surdimensionné de leur zone de floculation,
- 5 - vitesses de séparation relativement faibles,
- coût énergétique de la pressurisation

Cependant depuis quelques années apparaissent des flottateurs rapides mettant en œuvre des modules lamellaires co-courant ou des systèmes de reprise
10 spécifiques. Des vitesses de 20 à 40 m/h sont annoncées. Par ailleurs, les temps de floculation baissent en raison de l'objectif de floc recherché et des technologies plus performantes mises en œuvre.

15 Dans ces conditions de temps de floculation réduit et de vitesses élevées dans le flottateur, la flottation se montre extrêmement compétitive par rapport aux décanteurs. C'est la raison pour laquelle cette technologie fait actuellement un retour en force
20 spécialement en clarification des eaux peu chargées avec des arguments de compacité et de simplicité d'exploitation.

Mais avec des appareils présentant de telles performances en floculation et en vitesse de séparation, il faut que
25 les microbulles soient particulièrement adaptées en nombre et en qualité.

Les temps réduits de la floculation exigent des microbulles très fines, la fragilité des floes demande des énergies de mélange douces, les fortes vitesses de
30 séparation n'admettent pas de défaut de microbulles actives.

Ces contraintes ont fait que dans certains cas, les buses de détente classiques, de taille industrielle, n'ont pas permis d'atteindre les performances escomptées.

Par exemple sur des pilotes de taille semi-industrielle, des petites buses de détente (100 l/h à 500 l/h) permettaient d'atteindre des vitesses de séparation dans la cellule de flottation de 30 m/h, alors que sur une installation industrielle équipée de buses de détente plus grosses (1000 à 1500 l/h) la vitesse du flottateur ne pouvait pas dépasser 20 m/h.

Il a donc fallu développer une nouvelle buse mieux adaptée aux exigences des flottateurs rapides de taille industrielle.

Il existe à l'heure actuelle de nombreux types de buses de détente pour la clarification des eaux. A cet égard on peut se référer à l'article de E.M.Rykaart et J.Haarhoff (Wat.Sc. Tech. Vol 31, n° 3-4, pp 25-35. 1995) intitulé « Behaviour of air injection nozzles in dissolved air flotation » qui mentionne les principaux types de buses : Cet article se réfère notamment à des buses caractérisées par :

- une double détente (buse WRC et DWL) ou une simple détente (NIWR)
- une détente suivie d'une chambre d'amortissement de la vitesse (NIWR et DWL)
- une détente suivie d'une section divergente pour ralentir la vitesse (ci-après dénommée buse « B »).

La buse WRC est décrite notamment dans FR-P-1 444 026.
Elle comporte :

- 5 - un premier étage de détente réalisant l'essentiel de la détente, cet étage étant réalisé sous la forme d'un diaphragme ;
- 10 - une chambre intermédiaire de transfert et d'expansion dans laquelle le gaz (par exemple de l'air) est quasiment désorbé grâce au premier étage de détente et à la turbulence régnant dans cette chambre. La hauteur de cette chambre est relativement importante. A titre d'exemple dans le brevet cité ci-dessus, il est indiqué que cette hauteur est égale au diamètre de l'orifice du deuxième étage de détente.
- 15 - un deuxième étage de détente réalisant en fait le transfert d'une zone à forte énergie à une zone à faible énergie ou faible vitesse. Cet étage est réalisé sous la forme d'un diaphragme dont l'orifice présente un diamètre qui est toujours supérieur à celui de l'orifice du premier étage de détente et de préférence 2 fois plus grand. L'objectif de cette invention est d'obtenir les vitesses les plus faibles possibles en sortie de buse pour ne pas casser les flocs sur lesquels les bulles vont s'accrocher.
- 20 - un tube de sortie et de diffusion dont le rôle est de protéger le floc des vitesses encore relativement fortes en sortie de diaphragme et d'obtenir une vitesse suffisamment faible à la
- 25 sortie du tube.
- 30

Partant de cet état de la technique (buse WRC), l'invention se propose d'apporter une nouvelle buse

permettant d'obtenir sur des installations industrielles (buses de grandes capacités > 500 l/h) des performances hydrauliques tout à fait inattendues, et notamment un fonctionnement à plus de 30 m/h au lieu de 20 m/h avec la
5 buse « B » selon l'état antérieur de la technique.

En conséquence cette invention concerne une buse de détente d'eau pressurisée pour générer des microbulles dans une installation de flottation comportant un premier
10 étage de détente, une chambre intermédiaire de transfert, un second étage de détente et un tube de sortie, cette buse étant caractérisée en ce que :

- 15 - le premier étage de détente réalise une pré-détente en absorbant de 5 à 20% de la pression disponible ;
- le second étage de détente, sur lequel s'effectue l'essentiel de la détente, fait passer l'eau pressurisée de la pression de saturation à la
20 pression de sortie de la buse ;
- la chambre intermédiaire est une chambre de transit dans laquelle l'eau pressurisée approche de la pression de saturation en absorbant 5 à 30 % de la pression disponible et
- 25 - le tube de sortie constitue un tube de détente brutale et de confinement de la cavitation, sa longueur minimale correspondant sensiblement à la distance séparant l'extrémité dudit tube côté second étage de détente du point de recollement
30 des jets sur les parois du tube, avec un angle α de divergence des jets, avant recollement,

compris entre 3 et 12° de préférence entre 6 et 9°.

Selon une caractéristique de cette invention, les premier
5 et second étages de détente sont réalisés sous la forme
d'un diaphragme comportant un ou plusieurs orifices de
forme quelconque, le diamètre hydraulique de l'orifice du
premier étage, ou de l'orifice équivalent si cet étage
comporte plusieurs orifices, étant supérieur au diamètre
10 hydraulique de l'orifice du second étage, ou de l'orifice
équivalent si cet étage en comporte plusieurs.

Selon une autre caractéristique de l'invention, la
détente d_1 est effectuée au moyen d'une vanne, d'une
15 chicane ou de tout autre dispositif de restriction de
flux.

Selon une autre caractéristique de l'invention, la
chambre intermédiaire ou de transit présente une hauteur,
20 c'est-à-dire une distance séparant le premier étage de
détente du second étage qui est inférieure au diamètre de
l'orifice de la première détente (ou de l'orifice
équivalent si cet étage comporte plusieurs orifices), de
préférence égale à la moitié de ce diamètre.

25

D'autres caractéristiques et avantages de la présente
invention ressortiront de la description faite ci-après
en référence aux dessins annexés qui en illustrent un
exemple de réalisation ainsi que les résultats obtenus.
30 Sur ces dessins :

La figure 1 est un schéma représentant, en coupe
axiale verticale une buse selon la présente invention ;

La figure 2 concerne des expérimentations de laboratoire et illustre les résultats apportés par l'invention par rapport à ceux obtenus à l'aide de buses selon l'état antérieur de la technique rappelé ci-dessus et

La figure 3 traduit des données industrielles qui illustrent les résultats apportés par l'invention par rapport à ceux obtenus à l'aide des buses selon cet état antérieur de la technique.

10

En se référant aux dessins, on voit que la buse selon la présente invention comporte un premier étage de détente 1 réalisé ici, sous la forme d'un diaphragme comportant un orifice de diamètre d_1 , une chambre intermédiaire ou de transfert 3, un second étage de détente 2 comportant deux ou plusieurs orifices (le diamètre hydraulique équivalent de ces orifices étant égal à d_2), et un tube de sortie 4.

Ainsi, selon l'invention, le diaphragme constituant la détente d'un étage peut comporter un ou plusieurs orifices. S'il comporte plusieurs orifices (comme c'est le cas du second étage de détente 2 de cet exemple de réalisation), le diamètre hydraulique d (soit d_2 dans cet exemple de réalisation) est le diamètre équivalent d'un orifice dont la surface est égale à la somme des surfaces des orifices de ce diaphragme.

Comme il a été mentionné ci-dessus, le premier étage de détente 1, réalise une simple pré-détente, l'objectif étant qu'en amont du second étage de détente 2, la pression soit proche de la pression de saturation de l'eau pressurisée. Le diamètre hydraulique d_1 de l'orifice du système de restriction de flux constituant

ce premier étage 1 est supérieur à celui du diamètre hydraulique d_2 de l'orifice du diaphragme constituant le second étage 2 (ou de l'orifice équivalent lorsque ce diaphragme comporte plusieurs orifices comme c'est le cas du mode de réalisation illustré par la figure 1). De préférence, d_1 est égal à 1,5 d_2 . Dans cet étage la perte de charge est de l'ordre de 5 à 35%, de préférence de l'ordre de 15%.

10 Dans la chambre de transfert 3, le gaz (notamment de l'air) ne doit pas être désorbé. Il existe une sorte de continuité avec le premier étage de détente 1 et, selon la présente invention, la hauteur de la chambre 3 doit être inférieure au diamètre hydraulique équivalent de l'orifice du système de restriction de flux du premier étage de détente 1, cette hauteur e étant la distance séparant les deux étages de détente ainsi qu'on le voit sur la figure 1. Cette chambre intermédiaire de transfert 3 constitue une chambre de transit permettant d'approcher la saturation. La perte de charge obtenue dans cette chambre 3 est de l'ordre de 5 à 30%.

Le second étage de détente, 2, est, selon la présente invention, la seule détente efficace qui fait passer l'eau pressurisée de la pression de saturation à la pression de sortie de la buse (hauteur d'immersion de la buse). Ainsi qu'on l'a mentionné ci-dessus le diamètre hydraulique d_2 de l'orifice (ou de l'orifice équivalent) du diaphragme constituant cet étage 2 est toujours inférieur à celui du premier étage 1 et de préférence environ 1.5 fois plus petit. La perte de charge obtenue grâce à ce second étage de détente 2 est de l'ordre de 60 à 90%, de préférence 70%. L'objectif est de concentrer en

un point la totalité de la détente et la génération de microbulles. Ce second étage de détente 2 est à élargissement brutal, l'angle de sortie du ou des orifices du diaphragme le constituant étant plat (180°) ou compris entre 90° et 270° .

Dans le tube de sortie 4 s'effectue la génération de microbulles qui permet de réaliser deux phénomènes :

- une expansion brutale (pas de divergent)
- une zone de cavitation (pression absolue $=0$) effective et maintenue derrière le second étage de détente 2.

Ces phénomènes sont réalisés si la seconde détente est brutale (sans divergent ou divergent d'un angle au centre $< 90^\circ$ ou $> 270^\circ$) et si le tube présente une longueur suffisante pour que la zone de dépression ne soit pas alimentée par le liquide extérieure à la buse. Selon l'invention, cette longueur L est fonction du diamètre du tube et essentiellement de la distance entre la paroi externe du ou des jets et la paroi interne du tube. Selon l'invention, et comme on le voit clairement sur la figure 1, la longueur minimale L du tube 4 correspond sensiblement à la distance séparant l'extrémité dudit tube côté second étage de détente 2 du point de recollement des jets sur les parois du tube, avec un angle α de divergence des jets, avant recollement, compris entre 3° et 12° , de préférence entre 6° et 9° .

30

Selon la présente invention, afin de réaliser une bonne fermeture de cette zone de cavitation, il est nécessaire que le diaphragme constituant le second étage de détente

2, comporte soit un seul orifice central de forme quelconque (circulaire, carrée, rectangulaire, elliptique), soit plusieurs orifices situés à égale distance du centre du diaphragme.

5

Le tube peut se terminer par un divergent d'extrémité 5 présentant la forme d'une trompette de façon à améliorer les performances et à réduire la vitesse de sortie. Cette caractéristique apporte deux avantages :

10

- Un meilleur recollement de la ou des veines liquides et donc une meilleure fermeture de la zone de cavitation,
- Un ralentissement des vitesses de sortie buse compatible avec la tenue mécaniques des floes.

15

Ce type de réalisation permet de générer plus de grosses bulles que les buses WRC mais les microbulles sont plus fines.

20

Ces buses ont été caractérisées en laboratoire puis testées sur des appareils industriels en situation de production.

Résultats d'essais et performances

25

1) Essais en laboratoire

Une cinquantaine de buses ont été testées. Ces buses étaient dérivées des types suivants :

30

- Buses désignées ci-après par B comportant une détente suivie d'une section divergente pour ralentir la vitesse ;

- Buses du type WRC qui ont été décrites ci-dessus, et
- Buses objet de la présente invention, désignées par la référence DGT.

5

Leur débit est d'environ 1.5 m³/h. Elles sont alimentées en eau par un ballon de pressurisation sous 5. 10⁵Pa. Les buses sont plongées dans une cuve transparente présentant une capacité d'un m³ où sont réalisées un certain nombre de mesures :

10

- Quantité de grosses bulles générées par la buse. Ce débit est comparé en % à la quantité d'air effectif dissous dans le ballon.
- Qualité du lait de microbulles. Une mesure spécifique par turbidimètre permet d'apprécier la qualité globale des microbulles. Une forte turbidité correspond à des microbulles plus nombreuses et/ ou plus fines.
- Vitesse à la sortie de la buse. L'objectif est d'obtenir la vitesse la plus faible.

20

Les courbes illustrées sur la figure 2 visualisent les résultats obtenus en turbidité du lait de microbulles et en % de grosses bulles. La meilleure buse est normalement la buse qui génère le moins de grosses bulles et qui a le lait le plus dense.

25

Les résultats montrent que :

30

- les buses WRC génèrent peu de grosses bulles mais la densité du lait de micro bulles est faible.

les buses B et DGT (selon l'invention) génèrent plus de grosses bulles et paradoxalement présentent un lait plus dense. Plus il y a de grosses bulles, plus le lait est dense, la quantité d'air disponible étant plus faible, l'augmentation de densité ne s'explique que par des microbulles plus fines. La buse DGT selon la présente invention est plus performante que la buse B sur les 2 paramètres.

10

Les chiffres associés aux buses DGT (25, 35, 65, 90) correspondent aux longueurs L en mm des tubes 4 munis d'une extrémité en trompette 5 (carrés noirs). On vérifie qu'une longueur insuffisante 25 mm ne permet pas de générer un lait dense. Il est nécessaire d'avoir une longueur d'au moins 35 mm pour que les veines liquides recollent sur les parois et in fine obtenir un lait de qualité. Compte tenu du fait que le diaphragme constituant le second étage de détente 2 comportait 3 orifices, l'angle α de diffusion du jet pour recoller à la paroi en 35 mm est compris entre 6 à 9° (12 à 18° au centre) Une longueur trop importante augmente la quantité de grosses bulles probablement par frottement. La qualité du lait a tendance à diminuer.

25

Les performances des buses DGT selon la présente invention, avec tubes de sortie 4 dépourvus de trompette sont représentées par des carrés clairs. Les extrémités en trompette 5 font gagner de 5% à 20% en turbidité et réduisent les vitesses de sortie buse de 10 à 40%.

30

En conclusion, les meilleures buses semblent être la buse WRC+ améliorée (faible quantité de grosses bulles et

turbidité correcte) et les buses DGT 35 et DGT 65 (forte densité de lait malgré un taux important de grosses bulles).

5 2) Tests sur des flottateurs industriels

Ces tests ont été réalisés sur une grande usine d'eau potable comportant cinq flottateurs travaillant en parallèle, dans les mêmes conditions, chacun étant équipé
10 de buses d'un type différent.

A l'exception de la buse « B » prise comme référence, les buses retenues toutes équipées de tubes de sorties à extrémités en trompettes étaient les suivantes :

- buse B
- 15 - buse WRC+
- buse DGT 35
- buse DGT 65
- buse DGT 100

20 Sur une eau difficile et pour 2 débits testés (vitesse ramenée à la surface de séparation par flottation : 20 m³/m²/h et 30 m³/m²/h) les résultats, obtenus en turbidité de l'eau flottée et en vitesse sur le flottateur, sont consignés sur la figure 3.

25

L'examen de cette figure 3 montre que :

- Toutes les buses donnent des quantités de microbulles à peu près suffisantes à 20 m/h (taux de pressurisation =13%).
- 30 - A 30m/h et avec un taux de pressurisation de 8.5 %, la différence entre buses apparaît nettement :

- Les buses B décrochent par déficit de microbulles dû probablement à un excès de grosses bulles.
- Les buses WRC+ perdent en efficacité sans doute car leurs microbulles sont globalement plus grosses.
- Seules les buses DGT65 et DGT 100 ne décrochent pas avec la vitesse. Ce sont donc les buses qui génèrent la plus grande quantité de microbulles. La longueur du divergent de la DGT 35 n'est pas suffisante pour générer des microbulles de même qualité.

En conclusion, il apparaît que, de façon surprenante, la buse qui génère cinq fois plus de grosses bulles (50% contre 10%) est finalement la buse la plus performante en flottation. Ceci est probablement dû au fait, comme on l'a déjà mentionné, que les microbulles générées sont plus petites. Les conditions de génération de ces microbulles sont une détente brutale avec formation d'une zone de cavitation non réalimentée grâce à un tube divergeant à extrémité en trompette suffisamment long.

Il demeure bien entendu que la présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation ou de mise en œuvre décrits et/ou mentionnés ci-dessus mais qu'elle en englobe toutes les variantes. C'est ainsi que notamment, le diamètre hydraulique d_1 de l'orifice du premier étage de détente 1 ou de l'orifice équivalent si cet étage comporte plusieurs orifices peut être compris entre 1,6 et 1,1 fois le diamètre de l'orifice du second étage de détente ou de l'orifice équivalent si cet étage comporte plusieurs orifices.

REVENDEICATIONS

1. Buse de détente d'eau pressurisée pour générer des microbulles dans une installation de flottation
5 comportant un premier étage de détente (1), une chambre intermédiaire de transfert (3), un second étage de détente (2) et un tube de sortie (4), cette buse étant caractérisée en ce que :

- les premier et second étages de détente sont
10 réalisés sous la forme d'un diaphragme comportant un ou plusieurs orifices, le diamètre hydraulique (d_1) de l'orifice du premier étage (1), ou de l'orifice équivalent, si cet étage comporte plusieurs orifices, étant supérieur au diamètre (d_2) de l'orifice du second
15 étage, ou de l'orifice équivalent si cet étage en comporte plusieurs, les orifices susmentionnés pouvant être de forme quelconque mais de préférence circulaire, et en ce que :

- le premier étage de détente (1) réalise une pré-
20 détente en absorbant de 5 à 20% de la pression disponible ;

- le second étage de détente (2), sur lequel s'effectue l'essentiel de la détente, fait passer l'eau pressurisée de la pression de saturation à la pression de
25 sortie de la buse ;

- la chambre intermédiaire (3) est une chambre de transit dans laquelle l'eau pressurisée approche de la pression de saturation en absorbant 5 à 30 % de la pression disponible et

30 - le tube de sortie (4) constitue un tube de détente brutalé et de confinement de la cavitation, sa longueur minimale (L) correspondant sensiblement à la distance séparant l'extrémité dudit tube côté second étage de

détente du point de recollement des jets sur les parois du tube, avec un angle de divergence (α) des jets, avant recollement, compris entre 3 et 12°, de préférence entre 6 et 9°.

5

2. Buse selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'orifice du premier étage de détente est constitué d'une vanne, d'une chicane ou de tout autre dispositif de restriction de flux.

10

3. Buse selon la revendication 1, caractérisée en ce que la chambre intermédiaire ou de transit (3) présente une hauteur (e), c'est-à-dire une distance séparant le premier étage de détente (1) du second étage (2), qui est inférieure au diamètre (d1) de l'orifice du diaphragme constituant le premier étage de détente, de préférence égale à la moitié de ce diamètre.

4. Buse selon la revendication 1, caractérisée en ce que le diaphragme constituant le second étage comporte un seul orifice central.

5. Buse selon la revendication 1, caractérisée en ce que le diaphragme constituant le second étage comporte une pluralité d'orifices situés à égale distance du centre du diaphragme.

6. Buse selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que le diamètre hydraulique (d1) de l'orifice du premier étage de détente (1) ou de l'orifice équivalent si cet étage comporte plusieurs orifices est compris entre 1,6 et 1,1 fois le diamètre de

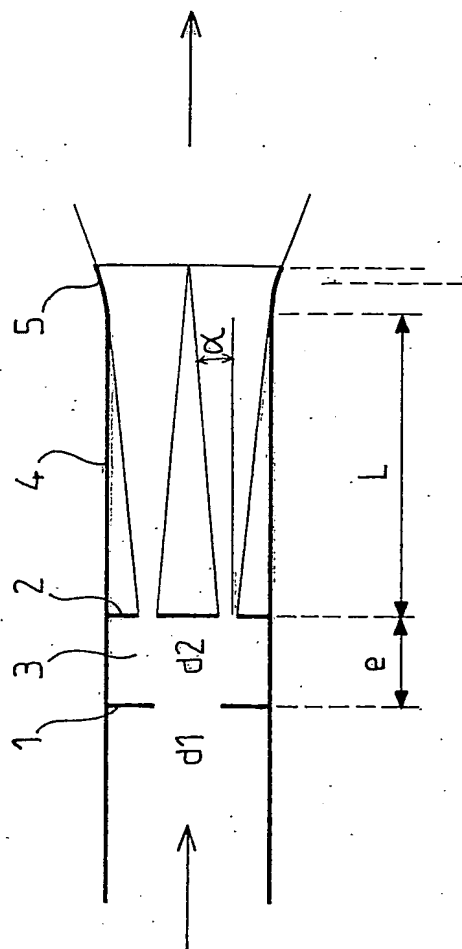
l'orifice du second étage de détente ou de l'orifice équivalent si cet étage comporte plusieurs orifices.

5 7. Buse selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le second étage de détente (2) est à élargissement brutal, l'angle de sortie du ou des orifices du diaphragme le constituant étant plat (180°) ou compris entre 90° et 270° .

10 8. Buse selon la revendication 1, caractérisée en ce que le tube de sortie (4) se termine par un divergent d'extrémité en forme de trompette (5).

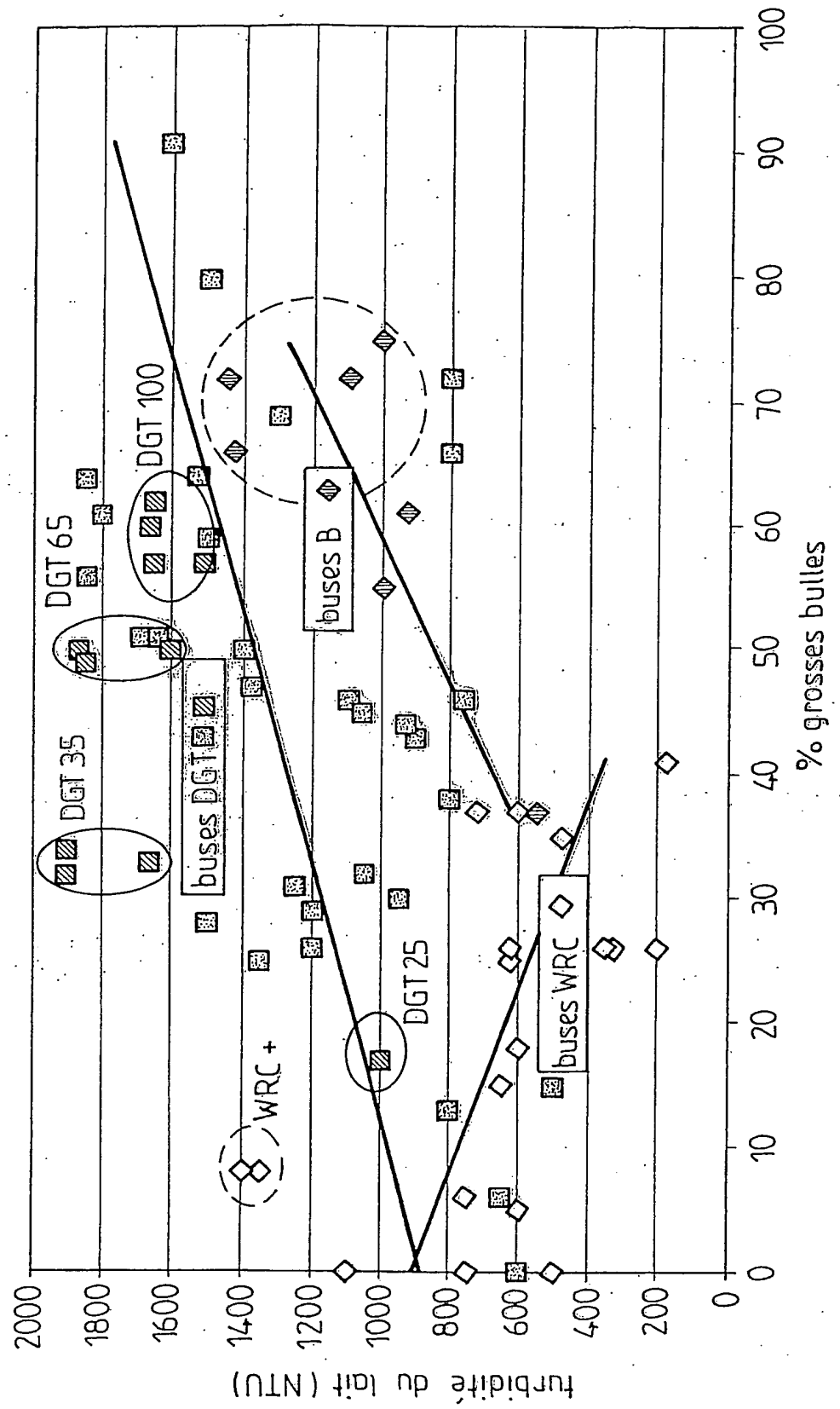
1/3

FIG.1



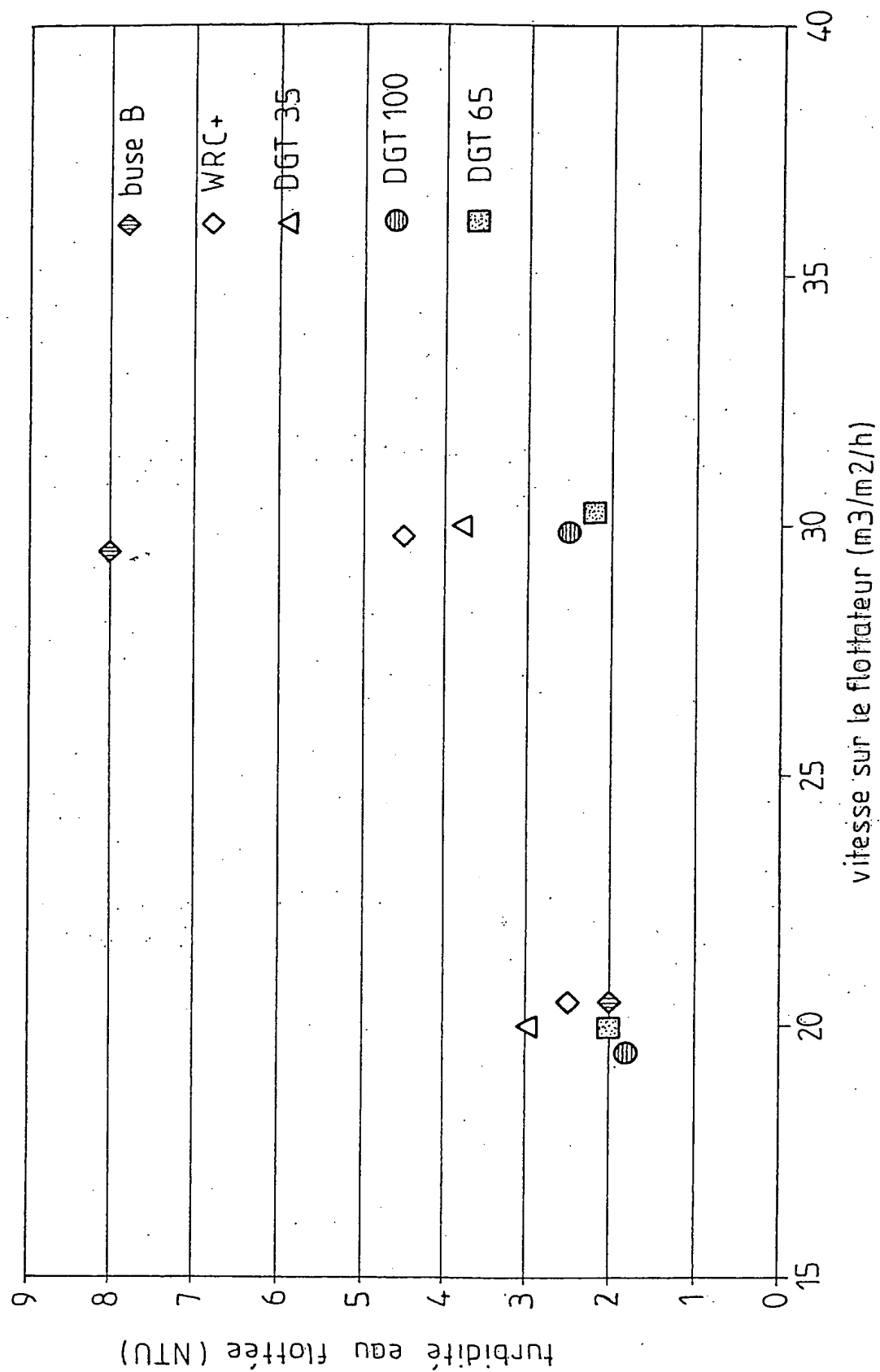
2/3

FIG.2



3/3

FIG.3



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.